

# 核燃料サイクルコスト 試算モデル・条件の確認

原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会(第1回)

平成23年10月11日

内閣府 原子力政策担当室

# 目次

- コスト算出方法について
- 試算モデルの考え方
- 前回(平成16年)以降の環境変化
  - フロントエンド・バックエンド・直接処分
- サイクルコスト試算条件(共通事項)
- 工程別の事業要素の単価について
  - 再処理・高レベル廃棄物処分・直接処分

# コスト算出方法について

発電コストの算出方法には大きく、以下の3方式が考えられる

## ■ モデルプラント方式

- 電源ごとにモデルプラントを想定し、適切な建設単価・燃料費・運転維持費・割引率等を想定して生涯平均発電コストを試算

## ■ 有価証券報告書に基づく方式

- 電力各社が公開する有価証券報告書(財務諸表)の中に記載のある情報(水力・火力・原子力別の営業費用、固定資産など)から各年度において実績値としての単年発電コストを試算

## ■ 特定シナリオに基づく方式

- 現時点から将来にむけて原子力及び核燃料サイクルの複数シナリオ(オプション)を想定し、政策変更を伴う場合には、変更に必要なとなるコストを含め、その総費用を計算してシナリオ毎コストを試算




# 試算方式の相違

出典:第35回原子力委員会資料第3-1号をもとに内閣府作成

	長所	短所(限界)	例
モデル プラント方式	同一の経済条件や事業環境下で、すなわち電源特性以外の条件が同一のもとで各種電源比較が可能。従って、 <b>今後の電源選択に当たっては有用。</b>	モデルプラントの仕様や個別の建設・運転状況により、試算結果が実績値と必ずしも一致しない。	総合エネルギー調査会電気事業分科会コスト等検討小委員会(以下、コスト小委)(2004) OECD "Projected Costs of Generating Electricity"(2010) MIT "The Future of Nuclear Power"(2003,2009) など
有価証券 報告書に 基づく方式	事業で実際に必要とされた実績値のため説得力がある。複数年度にわたる評価により変動要因の分析も可能。 <b>実績評価及び経営分析に当たっては有用。</b>	建設費用とその償却費といった長期にわたるコストを過去の「断面」でしか見ない。従って、今後の電源選択に当たっては必ずしも有用で的確な情報のみを提供するとはいえない。	電中研(1999) 大島(2010)
特定シナリオ に基づく方式	現実的な複数シナリオ(オプション)を設定することで、社会全体の総コスト評価が得られるほか、仮想的なシナリオによる評価も可能。 <b>未来の政策オプションを評価するに当たっては有用。</b>	シナリオに仮定が多い場合、不確実性が高くなる。	原子力委員会新計画策定会議技術検討小委員会(以下、技術小委)(2004)

## ■ コスト等検証委員会の要請は、**モデルプラント方式**

# 試算モデルの考え方①

- 本試算では、今後、各電源別の発電コスト比較の際に活用されることから、「**モデルプラント方式**」を前提に、原子力発電の燃料費部分に相当するコスト(核燃料サイクルコスト)を求める
- 試算対象は以下の2モデル
  - 核燃料リサイクルを行う  **再処理モデル**
  - 核燃料リサイクルを行わない  **直接処分モデル**
- このほか、参考として日本の現状を考慮し、コストを算出  **現状モデル**

# 試算モデルの考え方②

- 燃料の取得、原子炉への装荷から派生する将来コストと発生エネルギーを現在価値換算し、均等化発電単価(円/kWh)を算出



平成16年のコスト小委の試算と同手法を採用

- 平成16年から現在までの情勢変化を反映した現時点での核燃料サイクルコストを評価
  - ウラン資源価格の高騰
  - 為替レートの円高基調
  - 再処理等積立金法の施行

など

# 試算モデルの考え方③

## ■ コスト小委の方法論

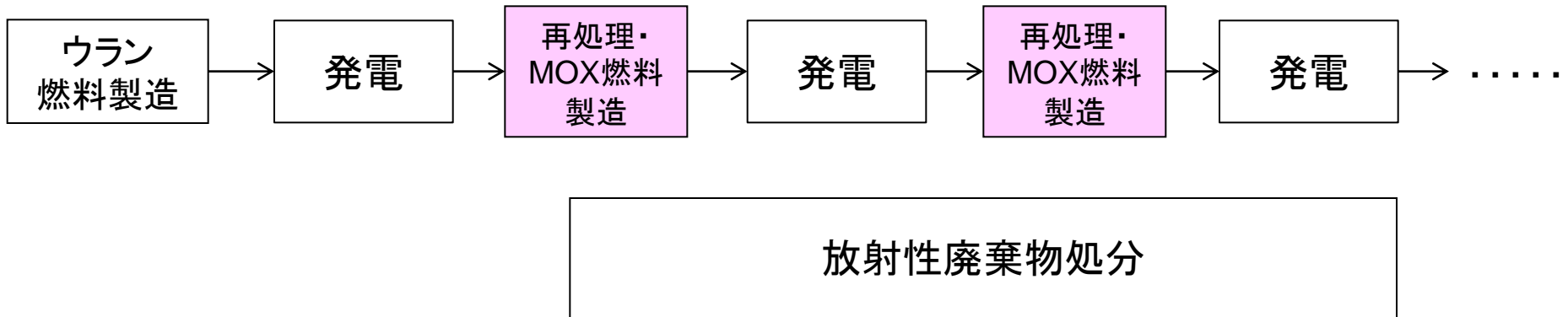
- 核燃料サイクル部分については、六ヶ所再処理工場の運転開始前だったため、「六ヶ所再処理＋それに続く再処理」サイクルを想定
- 発電規模などを想定の上、再処理工場の処理能力からみて使用済燃料の再処理量は発生量の64%と想定し、残り36%は中間貯蔵を行うと想定

## ■ 今回は、再処理モデルと直接処分モデルのコストを試算

## ■ 同時に、現状モデルに基づく試算を参考値として提示

# 試算モデル「再処理モデル」

## ■ 使用済燃料を再処理してリサイクル

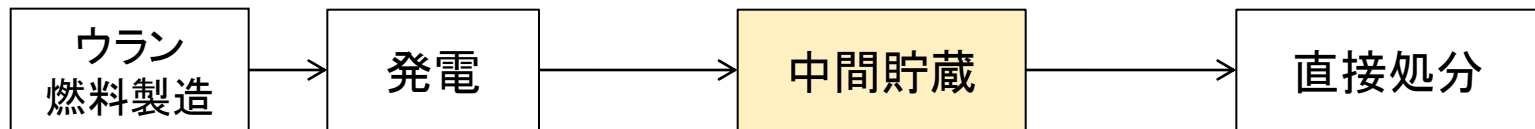


- 使用済燃料は全て再処理
- 再処理して取り出されたプルトニウムはMOX燃料としてリサイクル



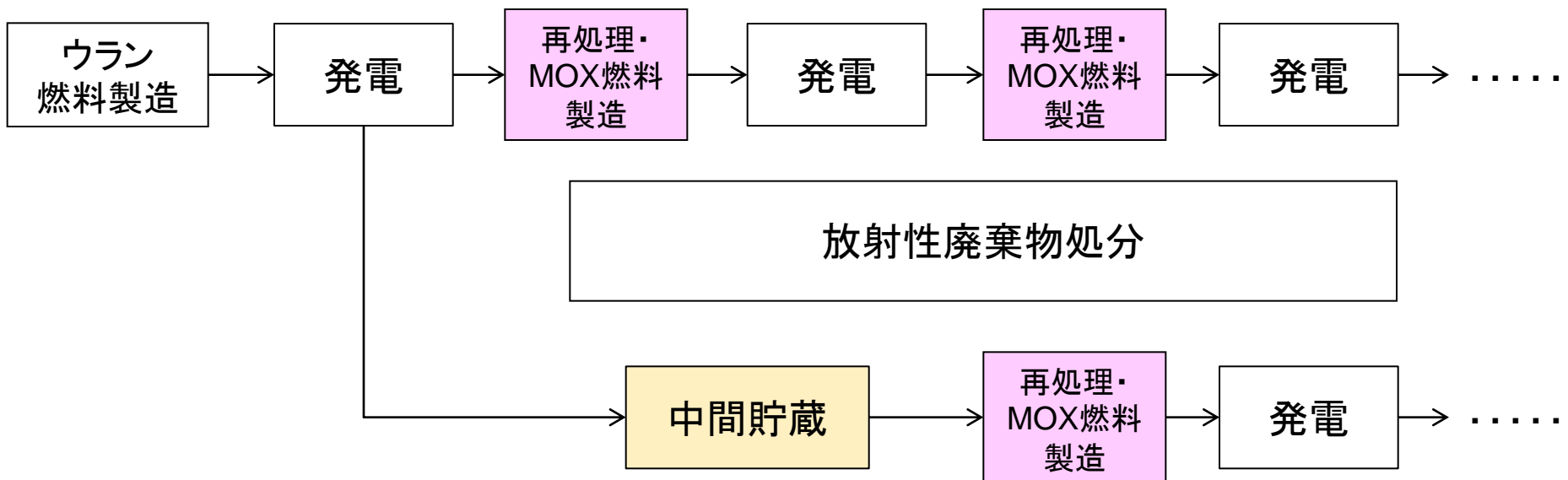
# 試算モデル「直接処分モデル」

- 使用済燃料全量を中間貯蔵後に直接処分



# 参考試算モデル「現状モデル」

- 使用済燃料の一部を再処理してリサイクル。  
残りは中間貯蔵の後に再処理



## フロントエンド

- ウラン精鉱（イエローケーキ； $U_3O_8$ ）のスポット価格は、近年著しく変動し、かつて1ポンド当たり10 \$ 程度であったものが、一時期130ドル以上となり、平成20年～平成22年の市場価格はの推移は、40～60 \$ /lb  $U_3O_8$ で推移
- 為替レートは円高基調であり、平成16年8月頃には、約110円/\$ であったが平成22年度平均では約86円/\$

# バックエンド

- 再処理等積立金制度が整備(P.12参照)
  - 平成17年より再処理に係わる費用(廃止費用、TRU廃棄物処分費用を含む)の積立てを開始。積立額は電気料金として回収。
- 六ヶ所再処理工場で平成18年3月から使用済燃料を用いた試験(アクティブ試験)を開始
  - ガラス固化体製造工程で難航し、平成24年10月にしゅん工を延期
- プルサーマルが4つの発電所で開始
- 平成22年10月に六ヶ所MOX燃料加工工場が着工
  - 平成28年3月のしゅん工予定
- 青森県むつ市に国内初の使用済燃料中間貯蔵施設が平成22年8月着工
  - 平成24年7月の事業開始を予定

## 再処理等積立金に係る制度措置等の整備

- 再処理等積立金法が平成17年に施行(六ヶ所再処理工場分)
  - 核燃料の燃焼に応じて発生する使用済燃料について、六ヶ所再処理工場で再処理される分の再処理等費を積立て、費用化していく
  - 再処理等費の年度展開と対象使用済燃料発生の年度展開を割引率を用いて使用済燃料発生時点で同時点換算し、単位重量当たりの均等化単価を算出
- 電気事業分科会平成19年投資環境整備小委員会報告において、六ヶ所再処理工場で再処理される以外の使用済燃料(通称「白地」)の再処理等費についても、会計的に引当計上を行うこととなった

# 前回以降の環境変化

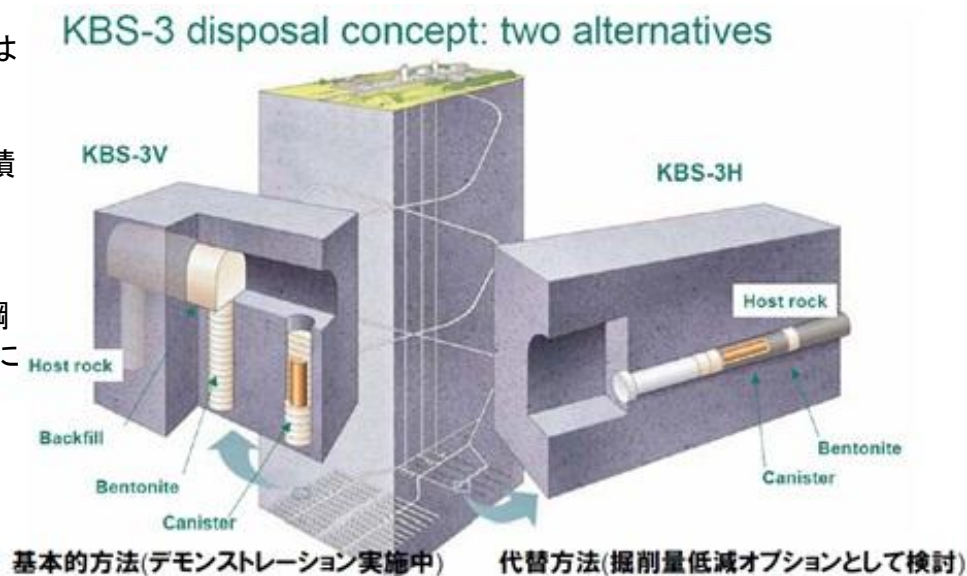
## 直接処分

### 【基本的な考え方】

- 基本的な技術はガラス固化体の地層処分の技術を流用できる。
- 先行している海外事例(スウェーデン,フィンランド等)における既存情報や技術開発動向について調査等を実施する。

### 【成立性やコストへの影響の観点から不確定要因があるとされた項目】

1. 放射線分解や酸化還元フロント進展の挙動と影響  
⇒ 処分環境やキャニスター(鉄)の存在を考慮すると影響は顕著でない。
2. 廃棄体発熱量などの処分施設設計への影響評価  
⇒ 前回大綱策定時の技術小委における処分施設専有面積( $\text{m}^2/\text{tU}$ )については、スウェーデン,フィンランドのそれと比較しても大きな差はない。
3. 廃棄体定置方法および地下施設設計手法  
⇒ **処分坑道断面積大幅減少の可能性**があるが、前回大綱策定時の技術小委における横置き方式の参考幅の中にほぼ入る。
4. 臨界回避・評価  
⇒ 燃焼度クレジットとFPの考慮が重要である。
5. 燃料集合体の発熱量、核種量の評価・設定  
⇒ LWRやLWR-MOXの解析例を調査した。



第4回新大綱策定会議資料

# サイクルコスト試算条件（共通事項）

項目	コスト小委（平成16年）	今回	
ウラン燃料濃縮度	BWR 3.8% PWR 4.1%	再処理モデル	BWR 3.7% PWR 4.6%
		直接処分モデル	PWR 4.5%
平均取出燃焼度	UO <sub>2</sub> 燃料：45,000 MWd/t MOX燃料：40,000 MWd/t	←	
炉内滞在時間	5年	←	
熱効率	34.5%	←	
ウラン燃料価格	平成12年～平成14年実績	平成19年～平成21年実績	
MOX燃料価格	コスト小委検討結果	最新の工場の建設費を考慮	
バックエンド処理単価	コスト小委検討結果	再処理等積立金届出ベース他	
再処理：中間貯蔵比率	64：36	50：50	
次世代生成率	15%	←	
為替レート	121.98 円/\$	85.74 円/\$	
割引率	0, 1, 2, 3, 4 %	0, 1, 3, 5 %	

# 工程別の事業要素の単価について

- ウラン燃料の原子炉への装荷から派生する将来コストを算出するに当たっては、各事業要素の単価（ウラン燃料1トン当たりでの費用）を算定しておくことが必要

フロント エンド	ウラン燃料	電力各社の至近の調達実績
	MOX燃料	平成16年コスト小委で用いた算定に対し、最新の建設費の動向を考慮
バック エンド	再処理	直近の電気事業者及び日本原燃からの届け出を基礎として、法に基づき、国（経済産業省）において算定している再処理費を基に算定
	高レベル放射性 廃棄物処分	直近において、法に基づき、国（経済産業省）において算定している処分費を基に算定
	中間貯蔵	平成16年コスト小委で用いた算定のうち、最新の建設費の動向を考慮
	直接処分	前回の技術小委での試算をもとに、最新の技術的知見を考慮



## 工程別事業要素の単価

- 再処理事業については、平成16年1月のコスト小委において、六ヶ所再処理工場の操業体制や運転保守の合理的な見積もりを基に、その総事業費を約12.6兆円と試算した
- その後、再処理等積立金制度(P.17参照)が始まり、電気事業者及び日本原燃(株)からの届け出を基礎として、毎年度、法に基づき、国(経済産業省)において総事業費を算定している。ここでは、六ヶ所再処理工場の竣工延期による影響等も反映
- そこで、今回の試算に用いる再処理事業の単価は、直近の事業者からの届け出を基礎に算定した総事業費(P.18参照)を基に算出することとしてはどうか
  - 合理的な見積もりが困難なリスクを想定し、必要に応じて感度分析を行うか

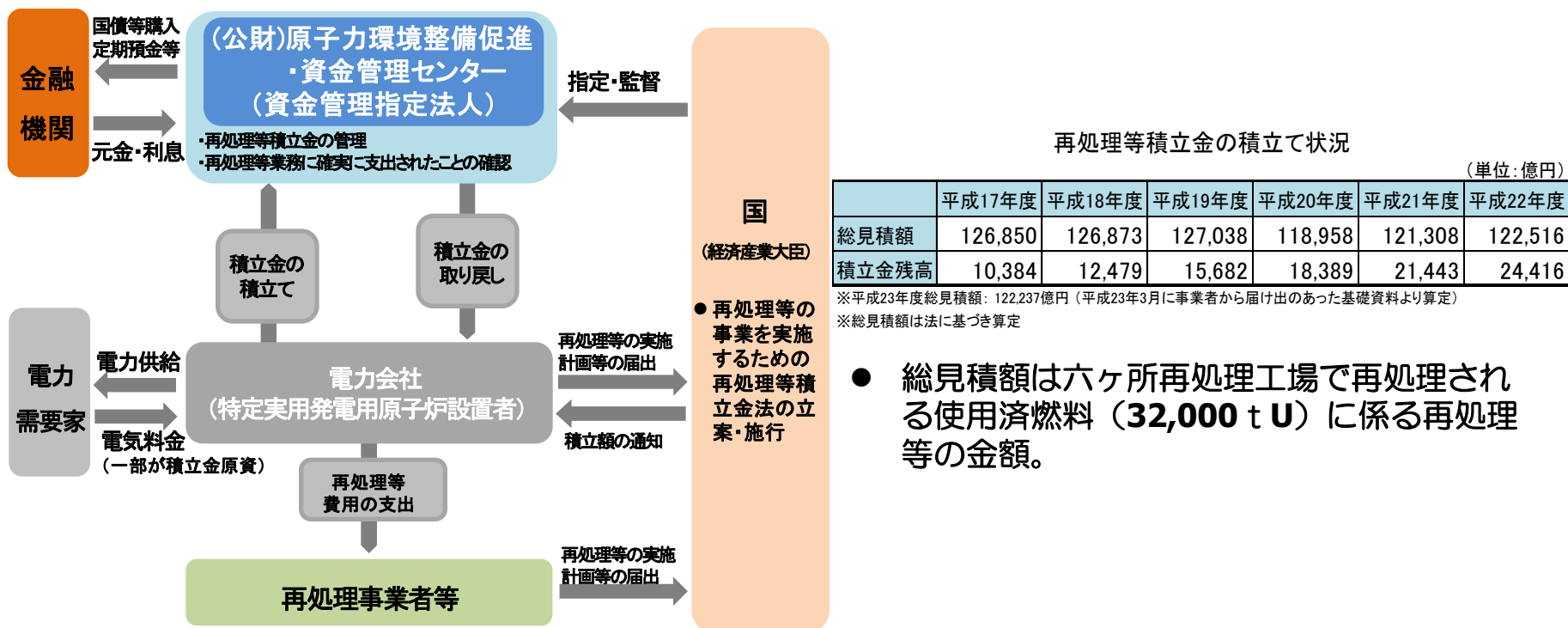
## 再処理

# 再処理等積立金のスキーム

- 核燃料サイクルの根幹をなす再処理等の事業は、極めて長い期間を要するとともに、その費用が極めて巨額であることから、必要な資金を、安全性・透明性が担保された形で確保することが必要。そのため、電力会社が法※に基づき、再処理等に必要な費用を積立てる。

- 再処理等積立金の額は、事業者から届け出られた再処理等の費用を基礎として、国において算定する。

※法：原子力発電における使用済燃料の再処理等のための積立金の積立て及び管理に関する法律（平成17年法律第48号）



## 再処理等積立金の基本的スキーム

出典：資源エネルギー庁提示資料より内閣府作成

## 再処理

# (参考)再処理等総事業費の状況

		最新 届出額	コスト等 検討小委
前提とした 再処理計画	再処理期間	2005～ 2052年度	2005～ 2046年度
	再処理総量	約3.2万吨	約3.2万吨

- 再処理単価については、本表より  
該当部分を抽出した上で算出

単位: 百億円

		最新 届出額	コスト等 検討小委	差	届出額算定の基本的考え方	コスト等検討小委からの主な状況変化
六ヶ所 再処理	操業	927	905	22	日本原燃の最新事業計画に基づく建設等投資額、運転保守費、その他諸経費	・ 再処理期間6年延長に伴う操業費用増 ・ 増資に伴う支払利息減 ・ 税制改正(償却前倒し)による支払利息減
	廃止措置	154	155	▲1	コスト等検討小委時の単価・物量を基礎に、物価変動等の状況変化を反映	・ 資材関係指標下落
返還高レベル放射性廃棄物管理	廃棄物貯蔵	29	27	2	日本原燃の最新事業計画に基づく建設等投資額、運転保守費、その他諸経費	・ 貯蔵期間2年延長に伴う費用増
	廃止措置	1	1	▲0	コスト等検討小委時の単価・物量を基礎に、物価変動等の状況変化を反映	・ 資材関係指標下落
返還低レベル放射性廃棄物管理	廃棄物貯蔵	18	35	▲16	コスト等検討小委時の建設等投資額、運転保守費、その他諸経費を踏襲	・ 代替取得反映に伴う低レベル廃棄物量減
	廃止措置	1	4	▲3	コスト等検討小委時の単価・物量を基礎に、物価変動等の状況変化を反映	・ 資材関係指標下落 ・ 代替取得反映に伴う貯蔵本数減
処分場への 廃棄物輸送	高レベル	10	9	1	〃	・ 代替取得反映に伴う高レベル廃棄物量増 ・ 輸送関係指標上昇
	低レベル	21	22	▲1	〃	・ 代替取得反映に伴う低レベル廃棄物量減 ・ 輸送関係指標上昇
廃棄物処分	高レベル	0.3	—	0.3	最終処分法に基づく拠出単価×代替取得高レベル放射性廃棄物量	・ 代替取得反映に伴う項目追加
	低レベル [地層処分]	37	78	▲41	最終処分法に基づく拠出単価×最終処分法に基づく地層処分廃棄物量	・ 最終処分法改正に伴う物量減及び同法に基づく拠出単価の適用
	低レベル [その他]	23	23	0	コスト等検討小委時の単価・物量を基礎に、物価変動等の状況変化を反映	・ 最終処分法改正に伴う物量増 ・ 代替取得反映に伴う低レベル廃棄物量減
合計		1,222	1,259	▲37		

出典: 資源エネルギー庁提示資料より内閣府作成

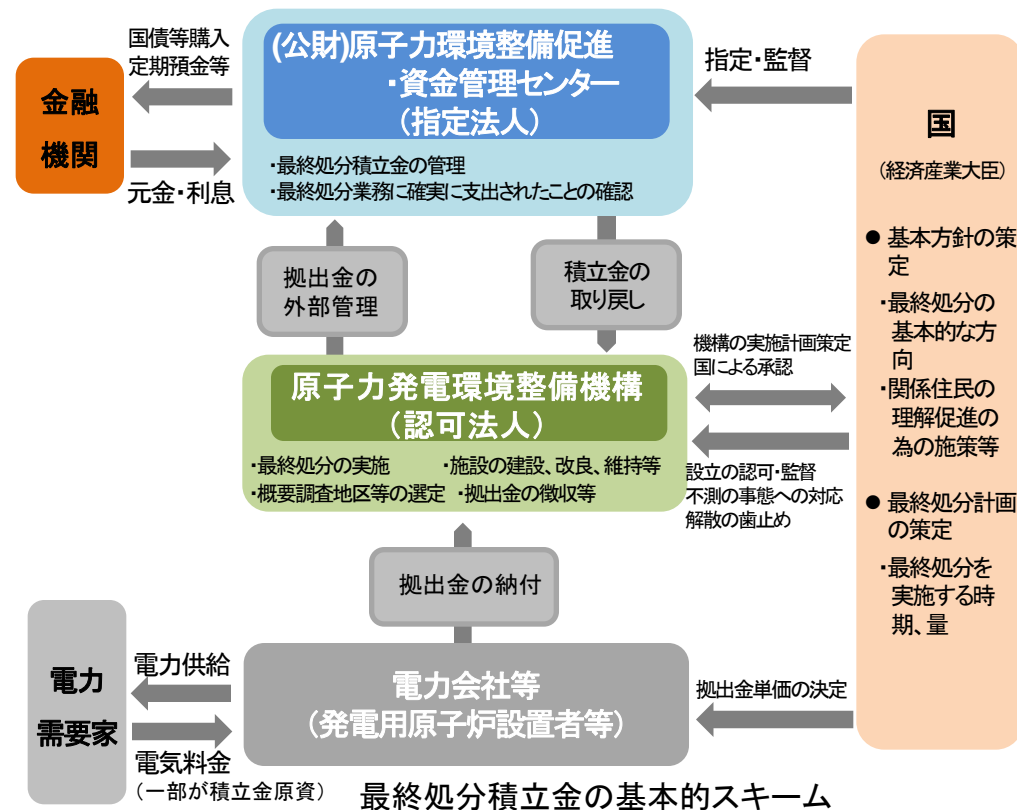
## 工程別事業要素の単価

- 廃棄物処分事業(ガラス固化体処理)については、平成12年9月の総合資源エネルギー調査会原子力部会において、日本原子力研究開発機構(旧核燃料サイクル開発機構)の研究開発結果や原子力委員会における処分概念の検討結果等から明らかにされた標準的な工程や技術的条件を基に、高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)4万本を地層処分する費用が約2.9兆円となることが確認された
- その後、最終処分拠出金制度(P.20参照)が始まり、毎年度、法に基づき、国(経済産業省)において人件費単価等の最新価格を踏まえながら総事業費を算定している
- そこで、今回の試算に用いる廃棄物処分事業の単価は、直近に算定した総事業費(P.21参照)を基に算出することとしてはどうか
  - 合理的な見積もりが困難なリスクを想定し、必要に応じて感度分析を行うか

# 高レベル放射性廃棄物処分 最終処分拠出金のスキーム

- ガラス固化体の最終処分については実施に必要な処分費用を計画的に確保することが極めて重要であることから、法※に基づき(公財)原子力環境整備促進・資金管理センターが平成12年に資金管理業務を行う指定法人として指定され、原子力発電環境整備機構(NUMO)からの拠出金を管理している。
- 積立に必要な拠出金の単価は毎年、国が見直しを行い積み立てが行われている。

※法：特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律(平成12年法律第117号)



最終処分積立金の積立状況

(単位：億円)

	平成12年度	平成13年度	平成14年度	平成15年度	平成16年度	平成17年度
総見積額	29,305	28,911	28,819	28,297	27,843	27,652
積立残高	0	1,020	1,705	2,372	2,940	3,566

(単位：億円)

	平成18年度	平成19年度	平成20年度	平成21年度	平成22年度
総見積額	27,728	27,879	27,582	27,922	27,769
積立残高	4,241	4,999	5,763	6,498	7,394

※平成23年度総見積り額：27,183億円

※総見積額は総合エネルギー調査会原子力部会で確認された積算方法に基づき算定

- 総見積額は、NUMOで地層処分されるガラス固化体4万本を処分するために必要な金額

出典：資源エネルギー庁提示資料より内閣府作成

## (参考) 廃棄物処分費(ガラス固化体処理)の状況

単位: 億円

	平成23年度			平成12年度			平均差	平成12年度からの 主な状況変化	算定における考え方
	軟岩系	硬岩系	平 均	軟岩系	硬岩系	平 均			
技術開発費	1,031	1,031	1,031	1,118	1,118	1,118	▲ 87	人件費単価の減	<積算の方法> ・人件費、材料費、機械経費等の直接費及び現場管理費、一般管理費等間接費を積算。 ・積算方法及び人件費単価、材料費単価については、一般的な土木工事や地質調査、一般公共工事等に用いられている価額・手法を採用。 <算定のケースの設定> ・岩種、深度の設定によって最終処分費用が変化するため、軟岩系(堆積岩)500m、硬岩系(結晶質岩)1000mのそれぞれのケースで算定し、それらの平均値を採用。 <施設の規模> ・ガラス固化体4万本を処分する施設と設定 <費用算定上の各段階におけるサイト数> ・TRU廃棄物と合わせて、文献調査10地区、概要調査5地区、精密調査2地区、最終処分施設建設地2地区と仮定して費用を算定。 <処分スケジュール> ・2000年に実施主体を設立 ・2036年から操業を開始 ・2086年に処分施設の解体・閉鎖開始 ・2096年に坑道を閉鎖 ・その後300年間モニタリング等の措置を実施
調査費及び用地取得費	1,591	1,782	1,687	2,252	2,501	2,376	▲ 689	人件費単価の減 TRU導入に伴う按分による減 土地単価の減	
設計及び建設費	9,750	8,110	8,930	10,476	8,725	9,600	▲ 670	人件費単価の減 設備関係指標の下落	
操業費	7,041	7,674	7,358	6,805	7,736	7,271	87	資材関係指標の上昇	
解体及び閉鎖費	861	909	885	801	884	842	43	資材関係指標の上昇	
モニタリング費	1,187	1,187	1,187	1,236	1,236	1,236	▲ 49	設備関係指標の下落	
プロジェクト管理費	5,407	4,722	5,065	6,132	5,396	5,764	▲ 699	人件費単価の減 TRU導入に伴う按分による減 固定資産税の減	
消費税	1,055	1,020	1,037	1,107	1,087	1,097	▲ 60		
合 計	27,927	26,438	27,183	29,927	28,683	29,305	▲ 2,122		

出典: 資源エネルギー庁提示資料より内閣府作成

# コスト試算ケース

- 今回はモデルプラントとして、国外で主流の縦置き定置で1サイト建設するケースを採用

岩種	2004年時 試算ケース	定置方法	収納本数	サイト数	前回の総費用 (兆円)	今回試算 対象ケース
軟岩	1	縦	2体	1	7.80	○
	2		4体	1	6.03	○
	3		2体	2	9.46	
	補足検討1	横	2体	1	4.09	
	補足検討2		4体	1	3.84	
硬岩	1	縦	2体	1	5.33	○
	2		2体	2	7.34	
	補足検討2	横	2体	1	4.54	

※ 硬岩縦置き定置での集合体4体収納ケースは、熱的制限値を満たさないため、検討除外している



# コスト見直しのポイント

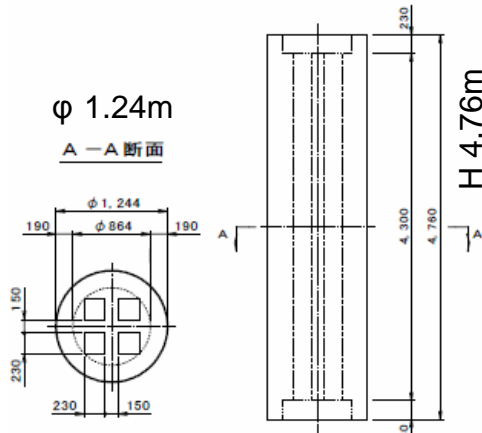
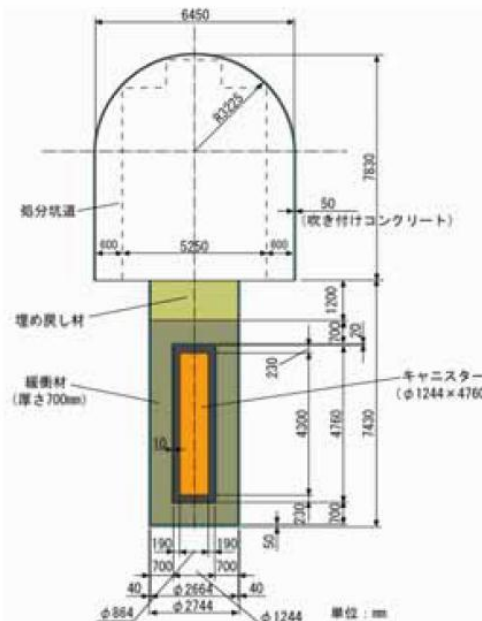
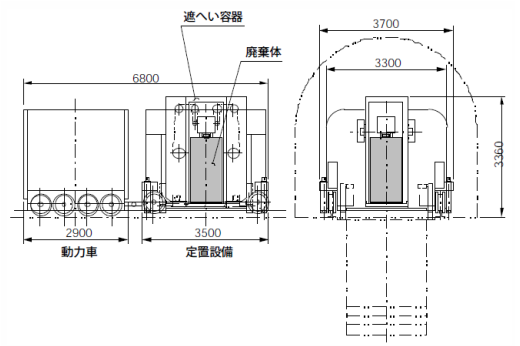
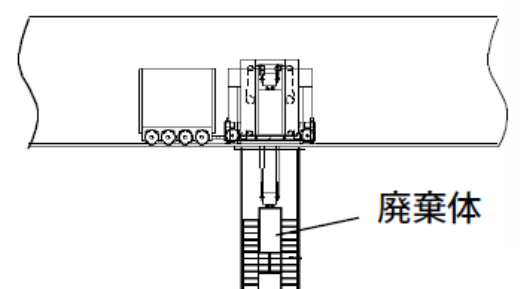
- 平成16年の技術検討小委員会での内容から、以下の点について最新の知見を反映し、直接処分コストの見直しを行う。

1. 処分坑道仕様の設定見直し  
直接処分で行っているフィンランド・スウェーデンにおける使用済燃料の定置方法(使用済燃料を横置きで搬送)の最新の検討例に基づき、**処分坑道等の仕様の見直し**を実施[縦置きのみ、横置きは変更なし](処分坑道径等の減少による坑道断面積の低減)
2. コスト試算の設定方法等は、上記平成16年報告と同様とするが、試算に使用する単価に建設に係わる**最新の公開単価**を使用。
3. その他前提条件については平成16年報告の内容から変更なし



# 処分坑道の設定見直しについて(1)

## ■ わが国の直接処分検討例(硬岩の場合)

キャニスター(4体収納)	処分坑道・処分孔の仕様	定置方法
<p>厚さ:190mm (蓋:230mm) 材質:炭素鋼</p>  <p>(原子力委員会, 2004)</p>	<p>処分坑道:H7.8m, W6.5m 処分孔:φ 2.70m, H7.40m</p>  <p>(原子力委員会, 2004)</p>	<p>縦置き運搬・定置(ガラス固化体と同様)</p>  <p>単位: mm (核燃料サイクル開発機構, 1999)</p>  <p>廃棄体 (核燃料サイクル開発機構, 1999)</p>

# 処分坑道の設定見直しについて(2)海外の事例


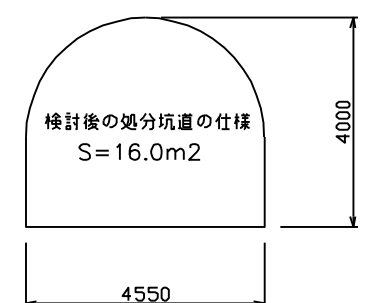
【平成20年11月 原子力委員会 政策評価部会】

種別	キャニスター	処分坑道・処分孔の仕様	運搬・定置方法
フィンランド(硬岩)	<p>厚さ:50mm(側部48mm) 外側:銅, 内側:鑄鉄 φ 1.05m</p> <p>(Raiko, 2005に加筆)</p>	<p><b>処分坑道:</b>H4.4m, W3.5m <b>処分孔:</b>φ 1.75m, H8.25m <b>スロープ:</b>X1.0m, Y1.0m</p>	<p><b>横置き運搬・縦置き定置</b></p> <p>(Saanio et. al., 2007)</p>
スウェーデン(硬岩)	<p>厚さ:50mm 外側:銅 内側:鑄鉄</p> <p>50 mm copper Estimated weight (kg): Copper canister 7400 Insert 13,600 Fuel assemblies (BWR) 3,600 Total 24,600</p> <p>(Andersson, 2002)</p>	<p><b>処分坑道:</b>H4.0m, W3.6m <b>処分孔:</b>φ 1.75m, H7.83m <b>スロープ:</b>X1.6m, Y1.2m</p>	<p><b>横置き運搬・縦置き定置</b></p> <p>(SKB, 2007)</p>

# 処分坑道の設定見直しについて(3)

【平成20年11月 原子力委員会 政策評価部会】

- フィンランド(POSIVA)やスウェーデン(SKB)の定置方法(使用済燃料を横置きにて搬送)を参考に検討し、硬岩系における処分坑道断面積は前回の検討に比べて約65%減少する仕様を採用。

原子力委員会(2004)の仕様	今回検討の仕様
<p><math>H=7.8\text{m}</math>, <math>W=6.5\text{m}</math>, <math>S=46.2\text{m}^2</math></p>  <p>当初の処分坑道仕様 <math>S=46.2\text{m}^2</math></p>	<p><math>H=4.0\text{m}</math>, <math>W=4.6\text{m}</math>, <math>S=16.0\text{m}^2</math> ⇒ 断面積の約65%減少</p>  <p>検討後の処分坑道の仕様 <math>S=16.0\text{m}^2</math></p> <p>(幅については、作業性を考慮してスウェーデンの仕様を参考に低減)</p>

# 想定した事業スケジュール

## ■ 前回技術小委と同じとする

期間	内容
0年	実施主体設立
0～9年(10年間)	処分予定地の選定段階
10～24年(15年間)	サイト特性調査及び処分技術の実証段階
25～84年(60年間)	建設及び操業段階 ・建設開始:25年 ・操業開始:35年(使用済燃料受入期間40年) ・操業終了:84年
85～94年(10年間)	解体・閉鎖段階
95～394年(300年間)	閉鎖後管理段階